

Veikko Nykänen


SÄHKÖAUTO Akkujärjestelmä

Opinnäytetyö
Sähkötekniikka


Helmikuu 2014



KUVAILULEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä 15.2.2014
Tekijä(t) Veikko Nykänen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikka
Nimeke Sähköauto: Akkujärjestelmä		
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli muokata vanhasta polttomoottorillisesta henkilöautosta täyssähköauto esittely- ja kaupunkiautoksi. Autolle asetettavia tavoitteita olivat, että auton pystyi lataamaan sähköverkon lisäksi koulun omaa tuuli- ja aurinkovoimaa käyttäen, autolla piti saavuttaa 120 km toimintasäde sekä autosta piti saada mahdollisimman käyttöturvallinen.</p> <p>Työssä käytettiin paljon täyssähköautomuunnoksesta käsiteltäviä materiaaleja ja dokumentteja, kuten opinnäytetöitä ja foorumikeskusteluita. Työssä kysyttiin myös neuvoja eri alojen ammattilaisilta sekä hyödynnettiin oppitunneilla käytyjä teoriaopintoja.</p> <p>Sähköauton akuiksi valittiin 36 kappaletta litium-rautafosfaattiakut. Ajoakkujen hallintajärjestelmiksi valittiin akunhallintajärjestelmät, jotka valvoivat akkuja ladattaessa ja purkaessa. Laturilla pystyi lataamaan 9 tunnissa auton akut täyteen.</p> <p>Sähköautolle asetetut tavoitteet saatiin täytettyä. Sähköauton aihiona käytettiin sporttista Toyota Celicaa, jota voitiin esitellä muille. Sähköauton lataaminen aurinko- ja tuulivoimalla on vielä kesken, mutta se valmistuu keväällä. Autolla ei päästy vielä ajamaan pitkiä matkoja, joten auton lopullinen toimintamatka oli mittaamatta. Sähköauton käyttöturvallisuutta parannettiin hätä/seis -painikkeella, joka katkaisee moottorinohjaimen syötön sekä kiinnitimme akut, niin etteivät ne pääse liikkumaan ajon aikana.</p>		
Asiasanat (avainsanat) sähköauto, akut, hallintajärjestelmä, laturi		
Sivumäärä 40 + 1	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Teemu Manninen		Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin ammattikorkeakoulu

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 9.2.2014
Author(s) Veikko Nykänen		Degree programme and option Electrical engineering
Name of the bachelor's thesis Electric car: Battery system		
Abstract <p>The aim of this thesis was to convert an old fuel combustion engine of a car to a full electric car. The aim of the electric car was that it is possible to charge electric car with the mains and with wind and sun power. The electric car was able to reach up to 120 km and the electric car was as safe as possible to be used.</p> <p>In this thesis we used a lot of documents of the electric car conversion such as other bachelor's theses and the conversation in different forums. In this thesis we also asked advises from the professionals of the difference fields.</p> <p>36 a Lithium Iron Phosphate batteries were selected as the batteries of the electric car. The management systems of the traction batteries were the batteries management systems, which monitored the batteries when the batteries were charged and were discharged. The charger of the electric car charged the batteries to full in 9 hours.</p> <p>The aims of the electric car were achieved. A frame of the electric car was sport looking a Toyota Celica, what can be presented to others. The charge of the wind and sun power is still in process, but they should be done in spring. We have not yet tested the range of the electric car so we do not know how far we can go with one charge. We improved the safety of the electric car by emergency stop button, which brakes the flow of the electricity to inverter and we also secured that the traction batteries does not move during drive.</p>		
Subject headings, (keywords) electric car, batteries, management system, charger		
Pages 40 + 1	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Teemu Manninen		Bachelor's thesis assigned by Mikkeli University of Applied Sciences

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	SÄHKÖAUTO YLEISESTI.....	2
2.1	Täyssähköauto	2
2.1.1	Akkutekniikka	3
2.1.2	Superkondensaattoritekniikka	4
2.2	Hybridisähköauto	5
2.3	Polttokennoauto	6
3	AKKUJÄRJESTELMÄN VALINTA.....	7
3.1	Akkujen valinta.....	7
3.1.1	Energiatiheys	8
3.1.2	Sisäinen resistanssi	8
3.1.3	Virranantokyky.....	9
3.2	Akunhallintajärjestelmän valinta	10
3.3	Laturin valinta.....	10
4	TYÖSSÄ HUOMIOITAVIA ASIOITA	11
4.1	Päävirtakaapelit.....	11
4.2	EMC- suojaus	11
4.3	Lataustapa.....	12
5	SÄHKÖAUTON AKKUJÄRJESTELMÄT	13
5.1	Akut.....	13
5.1.1	Akkujen sijoittelu.....	14
5.1.2	Akkujen kytkentä.....	15
5.1.3	Akkujen järjestys	15
5.2	Akunhallintajärjestelmä.....	15
5.2.1	BMS- moduuleiden sijoittelu	16
5.2.2	BMS- moduuleiden johdotus.....	17
5.3	Akunhallintajärjestelmän toiminnot ja hälytykset	18
5.3.1	Tehonrajoitus	19
5.3.2	Latauksen ohjaus	19
5.3.3	Akkujen lämmitys.....	19
5.3.4	Virran mittaus.....	21

5.3.5	Alijänniterajahälytys	22
5.3.6	Ylijännitehälytys	22
5.3.7	Alilämpöhälytys	22
5.3.8	Ylilämpöhälytys	22
5.3.9	Sulake palanut hälytys	23
5.4	Laturi	23
5.4.1	Laturin sijoitus	24
5.4.2	Laturin kytkentä	25
6	AKKUJEN LATAUS	25
6.1	Lataus sähköverkosta	26
6.2	Lataus aurinko- ja tullivoimalla	27
6.3	Lataus ajon aikana	27
6.3.1	Ajoakkujen lataus	28
6.3.2	Käyttöakun lataus	28
7	AKKUJÄRJESTELMÄN TESTAUS	28
8	PCTOOL- OHJELMA	30
9	KÄYTTÖ- JA KOLARITURVALLISUUS	33
10	POHDINTA	36
	LÄHTEET	39
	LIITTEET	
	1 Akkujen järjestys	

LYHENTEET

W h/ kg	Energiatiheys
R_s	Akun sisäinen resistanssi
C- arvo	Virranantokyky (Coulombi)
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus
LiFePo ₄ - akku	Litiumrautafosfaattiakku
BMS	Akunhallintajärjestelmä (Battery Management System)
CAN	Controller Area Network
PWM	Pulssin leveyden muutos (Pulse Width Modulation)
NTC	Negative Temperature Coefficient
shuntti	ylimenovastus (shunt resistor)
IP- luokitus	Sähkölaitteen suojaluokitus
DC/DC- muunnin	Tasasähkömuunnin

1 JOHDANTO

Nykyään ihmiset ovat hyvin ympäristötietoisia. Tämä havaitaan aivan meidän jokapäiväisessä elämässämme, pyritään säästämään erilaisissa kustannuksissa, kuten energiassa ja ihmisten kulutuskäyttäytymisissä. Yhtenä merkittävä ympäristötekona ihmiset ovat alkaneet satsata erilaisiin sähköautoihin, jotta välttyttäisiin suurilta polttoainelaskuilta ja kalliilta polttoaineveroilta. Ihmisten ajellessa sähköautolla ja laskeskellesa, paljonko he säästävät rahaa polttomoottoriseen autoon verrattuna, he eivät välttämättä muista sitä seikkaa, että he tekevät myös luonnolle palveluksen, koska sähköauto on täysin päästötön ajoneuvo ja ympäristöä kuormittamaton ajoneuvo.

Mikkelin ammattikorkeakoululta tarjoutui syksyllä 2012 projekti muokata polttomoottorilla varustettu auto täyssähköautoksi. Ilmoittauduin vapaaehtoiseksi Jani Turusen ja Joona Ehrnroothin kanssa. Koska polttomoottorisen auton muuntaminen sähköautoksi on valtava projekti, niin työt jaetaan siten, että yhteistyöllä opettajan Teemu Mannisen avustuksella suoritetaan auton rakentamisosuus ja jokainen syventyy johonkin omaan aiheeseen tarkemmin, josta kirjoittaa sitten opinnäytetyön. Minun opinnäytetyöni muodostuu sähköauton akkujärjestelmistä, Jani Turusen opinnäytetyöhön kuuluu sähköauton moottori ja moottorin ohjaus ja Joona Ehrnroothin opinnäytetyöhön kuuluu sähköauton sähköisesti toteutettu vaihteiden vaihto sekä logiikka. Sähköauto rakennetaan kokonaan sähkötekniikan opiskelijoiden toimesta.

Tämän työn tavoitteina ovat ladata sähköauto ympäristöystävällisesti käyttäen aurinko- ja tuulivoimaa ja auton akkujen lataaminen ajossa moottorijarrulla. Tavoitteina ovat myös saavuttaa autolla vähintään 120 km toimintasäde, joka riittäisi kattamaan hyvin kaupunkiajelun ja mahdollisen ajamisen lähikaupunkeihin sekä autosta saada mahdollisimman kolariturvallinen, jotta kolaritilanteessa akkuihin varastoitunut energia ei räjähtäisi tai akut eivät tulisi törmäyksen voimasta matkustamoon.

Tässä työssä tutustun erilaisiin markkinoilla oleviin sähköautotyyppeihin, joita ovat täyssähköauto, hybridisähköauto sekä polttokennoauto. Lisäksi käsittelen sähköautoihin liittyviä standardeja ja siitä kuinka niitä voidaan soveltaa sähköautoprojektissa. Työssä tutustun, mitä on otettava huomioon akkuja, akunhallintajärjestelmää tai laturia valittaessa. Tässä työssä esittelen projektin akkujärjestelmää, johon kuuluvat akut,

akunhallintajärjestelmät sekä laturi, ja kerron, kuinka ne käyttäytyvät. Lopuksi ja tärkein asia on tietenkin turvallisuus, käyttö- sekä kolariturvallisuus. Työssä esittelen ratkaisuja, joiden avulla saimme autosta turvallisen tieliikennekäyttöön.

2 SÄHKÖAUTO YLEISESTI

Sähköautolla tarkoitetaan yleensä henkilöautoa, joka on varustettu sähkömoottorilla. Koska sähköautossa ei ole päästöjä aiheuttavia ja ilmaa saastuttavia polttomoottoreita, niin ne ovat hyvin ympäristöystävällisiä, ja sen takia sähköautojen suosio on kasvussa. Sähköauton suurin ongelma onkin energianvarastointi, mikä tapahtuu sähköautossa akkuihin. Tämän johdosta sähköautojen käyttökelpoisuus riippuu siitä, miten akkuteknologia kehittyy. (Säköturvallisuuden edistämiskeskus 2013b.)

Kaikille sähköautoille on yhteistä se, että niissä on sähkömoottori, mutta sähköautot eroavat siinä, millä tavalla auton tarvitsema sähkö tuotetaan moottorille. Perinteisin tapa tuottaa sähköä sähköautossa on käyttää sähköauton akkuja, joihin sähkö on varastoitu. Tämän rinnalle ovat yleistyneet hybridisähköautot, joissa on akut sähkömoottoria varten sekä polttoainesäiliö polttomoottoria varten. Uusin versio sähköntuottamiseksi on polttokennoauto, jossa vetyä poltetaan erillisellä polttokennolla, ja siitä saatu sähkö johdetaan sähkömoottoriin. Näin ollen sähköautot voidaan luokitella täyssähköautoihin, hybridisähköautoihin ja polttokennoautoihin.

2.1 Täyssähköauto

Täyssähköautoksi lasketaan ne sähköautot, jotka liikkuvat ainoastaan sähköntuotannolla, eli ainoastaan sähkömoottori liikuttaa autoa. Tämä sähkö voi olla varastoituna auton ajoakkuihin, polttoaineena tai superkondensaattoreihin. Koska akkuihin ei voida varastoida suuria määriä sähköä, niin täyssähköauton toimintasäde on lyhyt, jonka johdosta täyssähköauton käyttö rajoittuu kaupunkiajoon. Sähköauto, jossa ajoakun lisäksi on erillinen polttoainetankki, voidaan laskea täyssähköautoksi, jos auton polttomoottori toimii ainoastaan generaattorina, joka syöttää sähköä auton sähkömoottoriin auton liikuttamista varten. Jos auton polttomoottori toimii generaattorina ja myös samalla osallistuu auton liikuttamiseen, niin silloin katsotaan, että auto on hybridi.

Täyssähköauton toimintasäde pelkällä sähköllä on kuitenkin huomattavasti parempi kuin hybridisähköautolla, koska täyssähköautossa ei ole polttoainetankkia, joten tankin tilalle voi laittaa akkuja. Hybridisähköautossa on oltava akkujen lisäksi myös polttoainetankki, jolloin akkujen kapasiteetti pienenee täyssähköautoon verrattuna. Täyssähköautossa on vähemmän liikkuvia ja rikkoutuvia osia kuin polttomoottoriautossa, joten täyssähköauto on luotettavampi kuin polttomoottoriauto, ja koska täyssähköautossa vähemmän liikkuvia osia, niin täyssähköauton huolto yksinkertaisempaa ja myös halvempaa. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2014.)

2.1.1 Akkutekniikka

Akku on sähkökemiallinen energiavarasto, joka muodostuu kahden elektrodin sähköparista, joista toista elektrodia kutsutaan anodiksi ja toista elektrodia kutsutaan katodiksi. Elektrodien välissä olevaa nestemäistä tai geelimäistä väliainetta kutsutaan elektrolyytiksi. Akku kytketään sen navoista virtapiiriin, jolloin anodissa tapahtuu hapettumisreaktio, jossa anodi luovuttaa elektroneja ja vastaavasti katodissa tapahtuu pelkistymisreaktio, kun katodi vastaanottaa anodilta tulevia elektroneja. Akussa olevat anodi ja katodi sijaitsevat akun navoissa. Anodi sijaitsee akun positiivisen navan kohdalla ja katodi sijaitsee akun negatiivisen navan kohdalla. Anodilta negatiivisesti varautuneet elektrodit kulkevat virtapiiriä pitkin anodille, jolloin syntyy sähkövirta. Yksi akku koostuu yleensä useammasta sähköparista, jolloin sähköparit ovat kennoissa. (Motiva 2013.)

Akut luokitellaan niissä käytettävien sähköparimateriaalin mukaan. Yleisimmät akuisa käytettävät sähköparien materiaalit ovat lyijy, nikkeli-kadmium ja litium-ioni. Jokaisella akulla on erilaiset ominaisuudet. Lyijyakut ovat edullisia ja varmatoimisia, mutta ne ovat samalla raskaita. Litium-ioniakuissa on muita akkuja suurempi nimellisjännite, ja suuri kapasiteetti painoon nähden, mutta ne ovat kalliita ja herkkiä syväpurkaantumiselle ja ylilataamiselle. Nikkeli-kadmiumakuilla on pitkä kestoikä, ja ne voivat antaa suuren määrän virtaa hetkellisesti, mutta niillä esiintyy kapasiteettia pienentävä muisti-ilmiö. (Motiva 2013.)

Muisti-ilmiöllä tarkoitetaan sitä, että akulla kyky ”muistaa”, miten paljon sitä on purettu ennen latausta, eikä pysty enää luovuttamaan enempää energiaa kuin ennen latausta. Toisin sanottuna akun käytössä oleva kapasiteettialue pienenee, eikä akkua pysty purkamaan niin hyvin kuin sille valmistaja oli luvannut. Tämä muisti-ilmiö saadaan kuriin purkamalla akku tyhjäksi valmistajan antaman alajänniterajaan saakka. Muisti-ilmiötä ei pidä sekoittaa ajansaatossa ilmeneviin kapasiteetin pienenemiseen, sillä muisti-ilmiö voi ilmaantua jo muutaman purkukerran jälkeen, jos akku on purettu toistuvasti samaan jännitetasoon ja sen jälkeen heti ladattu täyteen ilman välityhjennystä. (Liutu 2009, 9.)

2.1.2 Superkondensaattoritekniikka

Sähköä voidaan varastoida akkujen lisäksi myös superkondensaattoreihin. Akuissa oleva sähkö saadaan aikaiseksi kemiallisesti hyödyntäen kahden erilaisen metallin kemiallisia ominaisuuksia. Superkondensaattorit keräävät sähkövirrasta ioneja elektrodihinsa, jolloin superkondensaattori pystyy nopeasti luovuttamaan keräämänsä elektrodit, kun sähköä tarvitaan. Tällä menetelmällä superkondensaattorista saadaan paljon sähköenergiaa kerralla, mutta superkondensaattori purkautuu hyvin nopeasti. (Garthwaite 2011.)

Kondensaattorissa ja superkondensaattorissa on sama toimintaidea, eli ne varastoivat ioneja sähkövirrasta ja luovuttavat niitä tarpeen tullen, mutta ne eroavat toisistaan rakenteen, energiamäärän ja jännitekestoisuuden takia. Superkondensaattorissa olevien eristettyjen metallilevyjen etäisyys toisistaan on lyhyempi kuin kondensaattorissa. Superkondensaattorissa metallilevyjen etäisyys mitataan nanometreissä, kun taas kondensaattorissa metallilevyjen etäisyys mitataan mikrometreissä. Mitä lyhyempi on kondensaattorin ja superkondensaattorin eristettyjen metallilevyjen etäisyys toisistaan, niin sitä enemmän metallilevyjä mahtuu kondensaattorin sisälle, jolloin metallilevyjen pinta-alue kasvaa. Kun metallilevyjen pinta-ala kasvaa, niin levyihin pystytään varastoimaan enemmän energiaa. Tässä on myös haittapuoli. Kondensaattoreiden ja superkondensaattoreiden jännitekestoisuus heikkenee, kun metallilevyjen etäisyys lyhenee. Koska superkondensaattorin metallilevyt ovat lähempänä kuin kondensaattorissa, niin kondensaattorissa on parempi jännitekestoisuus kuin superkondensaattorissa. (Garthwaite 2011.)

Superkondensaattoreiden hyötyjä akkuihin verrattuna ovat niiden pieni koko ja se, että niistä saa otettua suuren sähköenergian lyhyessä ajassa. Superkondensaattorit ovat pitkäikäisempiä kuin akut. Superkondensaattorin haittoja ovat akkuihin verrattuna pieni kapasiteetti eli superkondensaattori on ladattava heti käytön jälkeen ja superkondensaattorit ovat akkuihin nähden hyvin kalliita. Superkondensaattorit on nopeampi ladata kuin akkuja, sillä superkondensaattori keräävät sähkövirrasta ioneja, jota se varastoi, kun taas akku muuttaa sähköenergian kemialliseksi energiaksi, mikä on huomattavasti hitaampaa. Monet sähköautovalmistajat hyödyntävät litium-ioniakkujen lisäksi superkondensaattoreita sähköauton kiihdytyksissä ja jarrutuksessa energian talteenottovarastona, jolloin autosta saadaan energiatehokkaampi. (Garthwaite 2011.)

2.2 Hybridisähköauto

Hybridisähköautossa on sekä sähkömoottorin lisäksi myös polttomoottori. Sähkömoottorilla ajetaan kaupungilla, jonka aikana auto saa tarvitsemansa energiansa suoraan akuilta. Sillä hetkellä, kun akkujen varaustaso on laskenut alajänniterajaan, polttomoottori käynnistyy ja lataa samalla akkuja. Polttomoottori voi toimia joko pelkkänä generaattorina, joka lataa akkuja, jotta voitaisiin käyttää pelkkää sähkömoottoria auton vetävänä moottorina, tai polttomoottori voi ladata akkuja ja samalla toimisi vetävänä moottorina. Sähkömoottorilla ajetaan kaupunkiajoa ja polttomoottorilla pitempiä ajomatkoja. Markkinoilla on myös sellaisia hybridisähköautoja, joissa polttomoottori vetää etupyöriä ja sähkömoottori takapyöriä, jolloin autosta saadaan tarvittaessa nelivetoinen. Hybridisähköautoissa polttomoottori voi olla bensiini- tai dieselmoottori. (Säköturvallisuuden edistämiskeskus 2013b.)

Hybridisähköautoja saa kolmella erilaisella varustelutasolla, jotka ovat Mild Hybrid, Full Hybrid ja Plug-In Hybrid. Näistä varustetasoista Mild Hybrid on vähiten varusteltu, ja siitä tulee löytyä ainakin seuraavat vaatimukset: sammutusautomaatiikka, lataava jarrutus sekä polttomoottoria avustava sähkömoottoria. Sammutusautomaatiikka sammuttaa polttomoottorin auton pysähtyttyä parantaakseen energiatehokkuutta ja vähentää polttoaineen kulutusta. Mild Hybridissä on oltava myös regeneroiva jarrutus, jonka avulla hyödynnetään auton liike-energia auton akkujen lataamisessa. Polttomoottoriautoa jarruttaessa auton liike-energia muuttuu kitkan vaikutuksesta lämmöksi,

mikä menee hukkaan. Regeneroivalla jarrutuksella sähkömoottorista tulee generaattori, joka syöttää sähköä takaisin akkuihin autoa hiljentäessä tai jarruttaessa. Mild Hybridissä on oltava polttomoottoria avustava sähkömoottori. Sähkömoottori ja akut on mitoitettava niin suuriksi, että sähkömoottori pystyy auttamaan polttomoottoria ajon aikaisissa kiihdytyksissä, joissa moottori kuluttaisi muuten paljon polttoainetta. Tämä sähkömoottorin lisääminen polttomoottorin rinnalle vähentää polttomoottorin kuormitusta, minkä ansiosta hybrideissä voidaan käyttää pienikokoisempia moottoreita, jotka kuluttavat vähemmän polttoainetta ja ovat samalla entistä energiatehokkaampia. (Union of Concerned Scientists 2013.)

Full Hybrid- varustelutasolla olevilta hybridimalleilta vaaditaan sammutusautomaatiikan, regeneroivan jarrutuksen ja polttomoottoria avustavan sähkömoottorin lisäksi, että autoa pystyy ajamaan pelkän sähköän voimalla, jolloin auto on lähes äänetön. Sähkömoottorin avulla moottorista saadaan lisättyä auton energiatehokkuutta pidemmäksi aikaa. Sähkömoottori ja akut toimivat hyvin liikkeellelähtötilanteissa sekä alhaisissa nopeuksissa, suurissa nopeuksissa polttomoottori korvaa sähkömoottorin. (Union of Concerned Scientists 2013.)

Plug- In Hybrid- varustelutaso on laajin hybridimalleista. Siihen kuuluvat sammutusautomaatiikka, regeneroiva jarrutus ja polttomoottoria avustava sähkömoottori, ja autoa pystyy ajamaan pelkän sähköän voimalla ja autoa pystyy lataamaan seinäpistorasiasta. Tällä varustetasolla olevalta autolta vaaditaan vähintään 30 km toimintasäde käyttäen ainoastaan sähköä. (Union of Concerned Scientists 2013.)

2.3 Polttokennoauto

Polttokennoauto on markkinoiden uusi sähköautotyyppi, jossa sähköauton tarvitsema sähkö ei ole varastoitu akkuihin, vaan sähkö tuotetaan polttokennotekniikan avulla. Polttokennoautoissa on vetykaasu, joka poltetaan polttokennoissa, josta saadaan sähköä. Vedyn palamistuote on pelkkää vettä, eli polttokennoauto on ympäristöystävällinen. Vedyn tankkaaminen onnistuu polttomoottorillisen auton tavoin tankata tankkauspistoolilla, tietenkin siihen tarkoitetulla pistoolilla.

Polttoaineena vety on maapallon yleisin alkuaine ja ehtymätön, joten ei ole pelkoa siitä, että vety pääsi loppumaan. Vedyn kerääminen ja jalostaminen on hyvin vaikeata, sillä vety kerätään yleensä vedestä, jolloin vedestä erotellaan happi ja vetymolekyyli. Tämä on hyvin kallista ja kuluttaa jo olemassa olevia energialähteitä, jotta vedestä saataisiin vetyä. Vety on maapallon kevein alkuaine, mutta sillä on erittäin korkea energiatiheys massaansa nähden. Tämän johdosta painoltaan pieni määrä vetyä mahdollistaa pitkän ajomatkan. Nestemäisellä vedyllä, joka painaa 5 kg, pääsee 500 km ajomatkalle. Vertailun vuoksi polttomootorilla varustettu auto tarvitsee 35 kg polttoainetta, jotta autolla pääsisi 500 km. (Schlapbach 2009.)

Vedyn käytön ongelma on siinä, että normaali ympäristöolosuhteissa vety on kaasumaisessa olomuodossa, jolloin sen tiheys on äärimmäisen pieni. Jotta saataisiin kasvatettua vedyn tiheyttä, vety on muutettava nestemäiseen olomuotoon. Tämä tapahtuu joko laskemalla vedyn lämpötila alle $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ tai vety on paineistettava yli 100 barin paineeseen. (Schlapbach 2009.)

3 AKKUJÄRJESTELMÄN VALINTA

Akkuja ja latureita on kehitelty paljon, joten oli hyvin tärkeää valita juuri ne oikeat laitteet sähköautoon, jotta auton toimintasäde ulottuisi mahdollisimman laajalle ja lataus ei vahingoittasi akkuja. Sen tähden akkujärjestelmiä oli syytä pohtia tarkkaan, mitä laitteita tulisi käyttää sähköautossa.

3.1 Akkujen valinta

Akkuja valittaessa tärkeintä on tietää, mihin käyttötarkoitukseen akkua käyttää, sillä kaikki akut eivät käy jokaiseen tilanteeseen, esimerkiksi vapaa-ajan akku ei toimi auton käynnistysakkuna, eikä auton käynnistysakku ole käytännöllinen vapaa-ajan akku. Sähköauton akut oli oltava ajoneuvokäyttöön tarkoitettuja, eli niiden oli oltava keveitä, pitkäikäisiä ja samalla nopeasti ladattavia.

3.1.1 Energiatiheys

Jos akkuja valittaessa akkujen paino on yksi tärkeimmistä kriteereistä, kuten sähköautossa, niin silloin on hyvä selvittää verrattavien akkujen energiatiheys. Energiatiheys kertoo, kuinka paljon tehoa saa akusta tunnin ajan yhtä kilogrammaa kohden. Energiatiheyden yksikkönä on W h/ kg (watti tunti/ kilogramma). Akun energiatiheys saadaan kertomalla akun nimellinen jännite akun nimellisvirralla, ja tämä saatu tulos jaetaan akun painolla. Tätä vertailua tekemällä paras akku on se, jolla on suurin energiatiheys, koska tästä akusta saadaan eniten energiaa vähimmäispainolla. Tämä testi ei ota kantaa siihen, onko joku akku toista akkua tilavampi, sillä testi perustuu ainoastaan akun painoon. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2013a.)

Osoittaakseni, että erilaisilla akuilla on erilainen energiatiheys, olen kerännyt muuttaman akkutyyppien energiatiheydet. Vertailtavat akut ovat lyijyakku, nikkeli-kadmiumakku sekä litium- fosfaattiakku. Lista on seuraavanlainen:

Lyijyakku 20–40 W h/ kg

Nikkeli-kadmiumakku 30–60 W h/ kg

Litium- fosfaattiakku 130–170 W h /kg (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2013a.)

Listasta huomaa, että lyijyakulla on matalin energiatiheys, mikä tarkoittaa sitä, että lyijyakkuja tarvitaan kaksi kertaa enemmän, jotta nikkeli- kadmiumakun energiatiheys saavutettaisiin. Lyijyakkuja tarvitaan taas kuusi kertaa enemmän, jotta litium- fosfaattiakun energiatiheys saavutettaisiin. Tämä akkujen määrän nostaminen johtaa taas siihen, että kennoista tulee raskaampi. Tämän listan perusteella sähköautoon sopivin akku olisi litium- fosfaattiakku, koska tällä akulla on suuri energiatiheys painoon nähden.

3.1.2 Sisäinen resistanssi

Jokaisella akulla on erilainen sisäinen resistanssi, R_s , joka riippuu akussa käytetystä sähköparista, akun tyypistä, akun rakenteesta sekä akun varaustasosta. Tunnetuista akuista nikkeli-kadmiumakulla on matalampi sisäinen resistanssi kuin lyijyakulla ja

taas litiumakulla on matalampi sisäinen resistanssi kuin nikkeli-kadmiumakulla. Sähköpareja yhdistävä elektrolyytti voi olla nestemäinen tai geelimäinen. (Motiva 2013.)

Mitä matalammaksi akun sisäisen resistanssin saa, niin sitä suurempi on akun virranantokyky. Erilaisilla akkutyypeillä on erilainen sisäinen resistanssi, joka vaikuttaa akun virranantoon. Käynnistysakulta vaaditaan suurta käynnistysvirtaa, joten akun sisäinen resistanssi on oltava hyvin matala, kun taas vapaa-ajan akulta ei vaadita suurta virtaa, joten sen sisäinen resistanssi voi suurempi kuin käynnistysakulla. Käynnistysakkuja valmistava Optima on saavuttanut matalan sisäisen resistanssin käärimällä akun kennot rullalle perinteisen levyn sijaan. Kennojen rullaamisella he ovat saavuttaneet akun elektrodeille suuremman pinta-alan kuin levyillä olevilla elektrodeilla, jolloin elektrodit pystyvät vastaanottamaan ja luovuttamaan elektroneja nopeasti. Rullamaisen kennorakenteen ansiosta he ovat saaneet akusta huoltovapaan, tärinän kestävän ja täysin suljetun. (Flinkenberg 2013.)

Akun varaustaso vaikuttaa myös akun sisäiseen resistanssiin. Täyteen ladatussa akussa on huomattavan matala sisäinen resistanssi, jolloin akku luovuttaa hyvin virtaa. Kun akusta otetaan virtaa, akun sisäinen resistanssi kasvaa ja samalla akun varaustaso lähtee laskemaan. Akkua ladatessa akun sisäinen resistanssi on alussa hyvin suuri, minkä johdosta akkuun ei mene heti virtaa. Kun akun varaustaso nousee, niin akun sisäinen resistanssi putoaa ja samalla akkuun menee enemmän virtaa.

3.1.3 Virranantokyky

Akun virranantokyvyllä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon akkua voidaan kuormittaa akun kapasiteettiin nähden. Tätä virranantokyvyn suuruutta kuvataan C- arvolla (Coulombi). Monet akut on luokiteltu 1C- arvoon, joka tarkoittaa sitä, että akkua voidaan kuormittaa sen kapasiteetin verran yhden tunnin ajan. Tämä voidaan havainnollistaa helpon laskun avulla. Esimerkiksi, jos akun kapasiteetiksi on ilmoitettu 10 Ah, niin kyseistä akkua voidaan kuormittaa 10 A virralla yhden tunnin ajan. Sama akku 0,5C- arvolla voidaan kuormittaa 5 A virralla kahden tunnin ajan ja 2C- arvolla samaa akkua voidaan kuormittaa 20 A virralla puolen tunnin ajan. Todellisuudessa on otettava huomioon akun sisäinen resistanssi, joka muuttaa osan energian lämmöksi ja pienen-

tää akun kapasiteettiä. Eli 2C- arvolla akun kapasiteetti on kulunut loppuun, ennen kuin puoli tuntia on ehtinyt kulua. (Battery University 2014.)

3.2 Akunhallintajärjestelmän valinta

Akunhallintajärjestelmää valitessa tärkeintä on tietää akkujen määrä, jota kyseinen akunhallintajärjestelmä valvoo. Akunhallintajärjestelmä valvoo akun lataus ja purkaus olosuhteita tarkkailen akun lataus- ja purkausvirtoja. Akunhallintajärjestelmä katkaisee latauksen silloin, kun akut ovat täynnä, jotteivät akut ylikuumene. Akunhallintajärjestelmä katkaisee akkujen purkauksen silloin, kun akkujen varaus menee liian alhaiseksi, etteivät akut pääse syväpurkaantumaa. Akunhallintajärjestelmän avulla akuista saadaan hyödynnettyä niiden koko käyttöikä. Akunhallintajärjestelmää valittaessa akkujen materiaalin ei vaikutta.

3.3 Laturin valinta

Laturia valittaessa on tärkeintä tietää, mikä on ladattavan akun tai akkujen jännite, sillä liian pieni latausjännite ei lataa akkua, kun taas liian suuri latausjännite voi aiheuttaa akun lämpenemisen ja sitä kautta jopa akun räjähtämiseen. Latausjännite olisi hyvä olla 0,5 V-2 V suurempi kuin akun nimellisjännite, jotta akku latautuisi. (Jokinen 2010, 1.)

Toinen tärkeä asia laturia valitessa on akun materiaali, sillä akku tai jopa laturi voivat vioittua, jos ne eivät ole yhteensopivia. Markkinoilla on myös latureita, jotka tunnistavat akkutyypin ja säätävät sen mukaan latausjännitettä. Näitä latureita kutsutaan älykkäiksi latureiksi.

Laturi, jonka on tarkoitus ladata useampia akkuja yhtä aikaa, on tärkeää tietää, kuinka akut on kytketty toisiinsa. Sarjaan kytketyt akut kasvattavat akkujen jännitettä, mutta akkujen kapasiteetti ei muutu. Tämä edellyttää laturilta suurempaa jännitettä, mutta samalla akut latautuu yhtä nopeasti kuin lataisi yhtä akkua kerralla. Tämä johtuu siitä, että sarjaan kytketyissä akuissa kulkee sama latausvirta jokaisen akun läpi, jolloin ne latautuvat samanaikaisesti. Tässä tilanteessa on huolehdittava, että laturin latausjännite on riittävä.

Rinnankytketyissä akuissa akkujen jännite ei muutu, mutta akkukapasiteetti kasvaa. Tässä tilanteessa laturin latausjännite voidaan mitoittaa yhden akun mukaan, mutta samalla latausaika moninkertaistuu. Tämä johtuu siitä, että latausvirta jakautuu akkujen määrän mukaan. Esimerkiksi jos viisi akkua on kytketty rinnan, niin niillä menee viisi kertaa enemmän aikaa latautua täyteen verrattuna sarjaan kytketyistä akuista.

4 TYÖSSÄ HUOMIOITAVIA ASIOITA

Tässä osiossa käsittelen standardeja, joita meidän piti huomioida, ennen kuin pääsimme rakentamaan sähköautoa. Standardit koskevat auton käyttö- ja turvallisuusvaatimuksia.

4.1 Päävirtakaapelit

Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) säännön numero 100 kohdan 5.1.1.5.3 mukaan ”suurjänniteväylien kaapeleissa, jotka ei ole koteloiden sisällä, on oltava oranssi ulkokuori (UNECE sääntö nro 100: 2010, 5).” Meidän tapauksessamme suurjännitekaapelit, joita ei voitu kokonaan koteloida, ovat akuilta moottorille menevät kaapelit. Käsittelen tarkemmin suurjännitekaapeleiden merkitsemisen akkujen kytkentä- osiossa.

4.2 EMC- suojaus

Euroopan yhteisöjen komission direktiivin 72/245/ETY liite 1 ajoneuvoja ja niihin asennettavien sähkölaitteita/elektronisia laitteita koskevat vaatimukset kohdan 1. soveltamisalan mukaan direktiivin alaan kuuluvat:

- ”vaatimukset, jotka koskevat säteilevien ja johtuvien häiriöiden sietoa toiminnoissa, jotka liittyvät ajoneuvon välittömään hallintaan, kuljettajaan, matkustajien ja muiden tienkäyttäjien turvallisuuteen ja sellaisiin häiriöihin, jotka aiheuttaisivat sekaannusta kuljettajalla tai muille tienkäyttäjille,
- vaatimukset, joilla rajoitetaan ei- toivottuja säteileviä ja johtuvia häiriöitä sähköisen ja elektronisen laitteistojen suojelemiseksi sille tarkoitettua käyttöä var-

ten omassa ja viereisissä tai läheisissä ajoneuvoissa sekä rajoitetaan ajoneuvoon mahdollisesti myöhemmin asennettavista apulaitteista peräsin oleva häiriöitä (Euroopan yhteisöjen komission direktiivi 72/245/ETY: 2004, 6).”

EMC- suojauksella (sähkömagneettinen yhteensopivuus) tarkoitetaan, että laite ei saa häiritä muita laitteita ja laitteen tulee sietää muualta tulevia häiriöitä. Sähköauto ei saa häiritä auton omia järjestelmiä toimiakseen tarkoituksenmukaisesti ja luotettavasti. Pahimmassa tapauksessa EMC:n kannalta heikoin osa voi rikkoontua normaalikäytössä itse tai aiheuttaa vahinkoa muihin kohtuullisesti suojattuja osia. (Sähköautot – Nyt 2013).

Koska tässä tapauksessa sähköauto jää koululle tutkimus- ja opetuskäyttöön, meidän ei tarvinnut suorittaa EMC- mittausta, mikä olisi ollut kallis. Kuitenkin suojasimme kaapelit huolella, jotta autossa ei syntyisi EMC- häiriöitä. Päälystimmme häiriöalttiit kaapelit metalliverkkosukalla, joka maadoitettiin autoon. Tällä tavalla pystymme poistamaan kaapeleihin syntyneet häiriöt.

4.3 Lataustapa

Suomen Standardisoimisliiton SFS osa 7-722 Sähköajoneuvojen syöttö kohta 3.5 lataustapa 3 mukaan ”sähköajoneuvon liittäminen vaihtosähkösyöttöön (verkkoon) käyttäen erityistä sähköajoneuvon latausjärjestelmää, jossa on ohjaus- ja valvontatoiminnot sijaitsevat kiinteästi vaihtosähköverkon liitetyssä sähköajoneuvon latausjärjestelmässä. Lataustapa 3 on suunniteltu erityisesti sähköautojen lataamiseen. (SFS 6000-7-722.3.5: 2012, 522.)” Meidän sähköauton latauksesta ja ohjauksesta vastaa akunhallintajärjestelmä, joka on auton mukana ja latauspistoke on erityisesti sähköautokäyttöön tarkoitettu. Käsittelen akunhallintajärjestelmää sitä koskevassa osiossa ja latauspistoketta akkujen lataus verkosta – osiossa.

5 SÄHKÖAUTON AKKUJÄRJESTELMÄT

Sähköauton akkujärjestelmä koostui kolmesta pääkomponentista, jotka olivat akunhallintajärjestelmä, akut sekä laturi. Jokaisella komponentilla on tärkeä tehtävä akkujärjestelmässä. Seuraavaksi kerron jokaisesta komponentista tarkemmin.

5.1 Akut

Sähköauton akut oli oltava kevyitä, pitkäikäisiä ja nopeasti ladattavia. Sen takia valittiin ajoakuiksi Calpin valmistamat akut, joiden määräksi valikoitui 36 akkua. Kyseessä olevat akut ovat litium- rautafosfaattiakkuja (LiFePO_4), joiden nimellinen jännite on 3,28 V. Akut kytkettiin sarjaan, jonka johdosta akkujen pääjännite saatiin nostettua 118,8 V. Jännitteen nosto oli tarpeen, koska moottorin nimellisjännite on 110 V. Jokaisen akun varaus on 180 Ah, joka tarkoittaa sitä, että akkua voidaan kuormittaa 180 ampeerilla yhden tunnin ajan. Yhden akun paino on 5,7 kg, eli 36 akun kokonaispaino on 205,2 kg. Tähän painoon on syytä lisätä akkukotelon paino, joka painaa noin 30 kg kotelon kansi mukaan luettuna, eli koko akkupaketti painaa noin 235 kg. Nämä akut ovat ainoastaan sähköauton ajoa varten, eli auton käyttöakku on erikseen, eli akku mikä ohjaa esim. auton valoja ja jarrutehostinta. Kuvassa 1 on esitelty sähköauton ajoakku.



KUVA 1. Sähköauton ajoakku

Sähköauton käyttöakuksi valitsimme Optiman valmistaman lyijyakun, koska kyseisellä akulla on hyvä kapasiteetti, 75 Ah, ja tämä akku kykenee antamaan paljon virtaa lyhyessä ajassa sen matalan sisäisen resistanssin kautta. Akku kestää ajossa syntyviä värinöitä, se on huoltovapaa ja täysin suljettu, joten kyseinen akku ihanteellinen auton käyttöakuksi. Käyttöakku antaa virtaa auton omille sähkölaitteille, kuten valoille, ohjaustehostin-, jarrutehostin- ja vesikiertopumpulle. Akku antaa virtaa myös auton loigikalle, joka ohjaa auton toimintoja. Kuvassa 2 on esitelty sähköauton käyttöakku.



KUVA 2. Sähköauton käyttöakku

5.1.1 Akkujen sijoittelu

Autosta poistettiin kokonaan takapenkit, jolloin siihen syntyneeseen tilaan saimme sijoitettua akkupaketin. Sijoituspaikkana tämä on meidän tapauksessa hyvä, sillä akuista ja akkuja suojaavasta kotelosta aiheutuva paino jää takarenkaiden eteen ja osittain päälle, jolloin auton painopiste on hyvin keskellä autoa, minkä johdosta auto on melko tasapainossa. Harkitsimme akkupaketin upottamista entisen polttoainetankin tilalle, jolloin auton painopiste olisi alenapana, mutta silloin auton rungon kestävyys olisi heikentynyt, emmekä olisi saaneet autosta yhtä kestäväää kuin alun perin.

Sähköauton käyttöakku sijoitettiin konehuoneeseen lähelle puskuria. Käyttämämme akku oli suurempi kuin auton alkuperäinen akku, joten jouduimme tekemään akulle oman kotelon. Koska käyttöakku sijaitsee keulassa, niin akulta tulevat syöttöjohdot jäävät lyhyiksi, minkä ansiosta johdoissa ei pääse syntymään jännitehäviöitä.

5.1.2 Akkujen kytkentä

Ajoakut kytkettiin sarjaan käyttäen kuparillisia liuskoja, jotka muodostuivat useista ohuista liuskoista tarjoten hyvän virrankestoisuuden. Liuskat oli taivuteltu siten, että ne ylettivät hyvin akun plussanavoista viereisen akun miinusnapoihin. Akkuja kytkettäessä on oltava varovainen ja tietoinen siitä, mitä on tekemässä, koska akkujen jännite kasvaa sitä mukaan, kun niitä kytketään sarjaan. Akkujen päälle ei saa asettaa mitään sähköä johtavaa, sillä muuten akut menevät oikosulkuun ja aiheuttavat polttavan valokaaren.

Auton päävirtakaapeli kytkettiin akkujen päänapojen välille. Päävirtakaapeliksi valittiin punainen monisäikeinen hitsauskaapeli, joka kestää 600 A virran. Monisäikeinen kaapeli on siitä hyvä, että sitä on helppo käsitellä ja hitsauskaapelissa oli valmiiksi hyvät eristeet, jotka takaavat hyvän eristyksen sähköiskuilta. Päävirtakaapeli päällystettiin oranssilla kutistemuovisukalla. Päävirtakaapeli kulkee sulakkeen kautta pääkontaktoriin, jota ohjataan moottorinohjaimen avulla. Pääkontaktorilta päävirtakaapeli menee moottorinohjaimelle ja siitä moottorille.

5.1.3 Akkujen järjestys

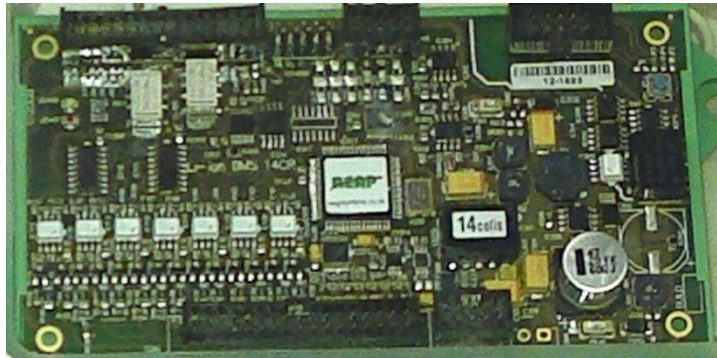
Akkupaketissa akut on jaettu kolmeen osioon. Osiot jakautuvat sen mukaisesti, kuinka BMS- moduulit valvovat kyseisiä akkuja. Akut ovat jaettuna siten, että BMS Master, joka on ensimmäinen moduuli akkupaketin kyljessä, valvoo akkuja 1-14. BMS Slave 1, joka on oikeanpuoleisin moduuli akkupaketin kyljessä, valvoo akkuja 15- 28 ja BMS Slave 2, joka on keskimmäinen moduuli akkupaketin kyljessä, valvoo akkuja 29- 36. Akut on laitettu numerojärjestykseen pienimmästä suurimpaan siten, että jokaisen osion pieninumeroinen akku on matalimman potentiaalin kohdalla (negatiivisin napa). Akkujärjestyksen havainnollistava kuva on liitteessä 1.

5.2 Akunhallintajärjestelmä

Koska sähköautoon tuli näin paljon akkuja, akkuja täytyi valoa ja ohjata jollakin järjestelmällä. Helpoiten tämä tapahtui akunhallintajärjestelmän avulla.

Akunhallintajärjestelmä valvoo akkujen lataus- ja purkuvirtoja, akkujen jännitteitä ja tarkistaa, että akkujen lämpötilat pysyvät sallituissa rajoissa. Järjestelmä rajoittaa akkuihin kohdistuvaa kuormitusta ja keskeyttää akkujen käytön, jos käyttöturvallisuus vaarantuu tai järjestelmään on tullut häiriö. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2013a.)

Sähköauton akunhallintajärjestelminä käytettiin Reapin valmistamia BMS 14 CR akunhallintajärjestelmiä (BMS= Battery Management System). Tällä kyseisellä järjestelmällä voidaan valvoa 14 akkua. Tämän takia akunhallintajärjestelmiä tarvittiin yhteensä 3 kappaletta. Tämä kyseinen BMS on tarkoitettu nimenomaan litium-tyyppisille akuille. Sähköauton akunhallintajärjestelmä moduuli on esiteltynä kuvassa 3.



KUVA 3. Sähköauton akunhallintajärjestelmä moduuli

5.2.1 BMS- moduuleiden sijoittelu

BMS- moduulit on sijoitettava mahdollisimman lähelle auton ajoakkuja, jotta kaapeloinnit olisivat mahdollisimman lyhyitä. Lyhyet kaapeloinnit mahdollistavat sen, että akuilta saatu mittaustulokset ovat tarkkoja eikä kaapeleihin aiheudu jännitehäviöitä. Tämän takia sijoitimme moduulit akkupaketin kylkeen siten, että moduulin ja kotelon väliin laitoimme kumipalat, jotta BMS- moduulit eivät vahingoittuisi auton värähtelyistä. Akkupaketissa ensimmäinen moduuli vasemmalta on Master, joka on muiden BMS- moduuleiden ”pääyksikkö”, joka hoitaa järjestelmän virran mittauksen sekä kytkee muut moduulit päälle ja pois päältä. Akkupaketin keskimmäinen moduuli on Slave 2 ja oikeanpuoleisin moduuli on Slave 1. BMS Slave 1 ja 2 ei ole numerojärjestyksessä, koska tämä järjestys mahdollistaa lyhyemmät kaapeloinnit eikä BMS- moduuleiden tarvitse olla numerojärjestyksessä, jotta moduulit pystyisivät keskustele-

maan keskenään. Kuvassa 4 on BMS- moduulit ja akkupaketti niiden loppusijoituspaikassa.



KUVA 4. Akkupaketti ja BMS- moduuleiden loppusijoituspaikka

5.2.2 BMS- moduuleiden johdotus

BMS- moduulit valvovat jokaisen 36 akun jännitetietoja sekä valvovat 21 akun lämpötilatietoja. Moduulit säättävät moottorin tehonalennusta, ohjaavat latausta sekä keskustelevat keskenään. Näin ollen BMS- moduuleihin tulee suuri määrä piuhoja, jotka täytyy erottaa muista piuhoista, jotta piuhat eivät mene sekaisin kytkentävaiheessa. Tämän takia akkujen jännite- ja lämpötila-arvojen mittaamiseen käytetään moniväristä lattaakaapelia, josta on helppo tunnistaa, mikä piuha menee mihinkin päin akkupakettia. Akkujen jännitetietopiuhat on suojattu 1,5 A sulakkeella, joka suojaa akunhallintajärjestelmiä vahingoittumasta, jos akuissa sattuu häiriö.

BMS- moduulit keskustelevat keskenään suojaamattoman CAT-6 -verkkokaapelin välityksellä. Moduulit keskustelevat akkujen jännite- ja lämpötilatiedoista sekä erilaisista hälytyksistä käyttäen CAN (Controller Area Network) -väyläkoodausta. CAN-väylässä sama viesti lähetetään kaikille moduuleille ja moduulit tarkastelevat viestin sanomatunnistetta ja päättävät, kuuluuko viesti kyseiselle moduulille vai ei, eli tekeekö kyseinen moduuli saamallaan viestillään mitään toimintoa.

BMS- moduuleiden muiden toimintojen tiedon välitykseen käytettiin 16- karvaista suojattua datakaapelia, jossa kaikki piuhat olivat erivärisiä. Erivärisyys auttoi tunnistamaan eri piuhat toisistaan, jolloin piuhoissa kulkeva tieto ei mene väärinpaikkoihin. Datakaapelia käytettiin myös moduuleiden välisiin toimintoihin, kuten moduuleiden käynnistykseen.

BMS- moduuleiden virtapiuhoina käytimme erivärisiä yksittäisiä piuhoja, jotka suojattiin 3,8 A sulakkeilla. Moduuleiden virtapiuhat kytkettiin siten, että moduulit saavat virtansa valvomiensa akkujensa ääripäistä. BMS Masterin syötön plussajohto kytkettiin akun 14 plussanapaan ja miinusjohto kytkettiin akun 1 miinusnapaan. BMS Slave 1 syötön plussajohto kytkettiin akun 28 plussanapaan ja miinusjohto kytkettiin akun 15 miinusnapaan. BMS Slave 2 syötön plussajohto kytkettiin akun 36 plussanapaan ja miinusjohto kytkettiin akun 29 miinusnapaan. Jokaisen moduulin syötön plussajohtoon laitoimme kytkimen, jolla saa manuaalisesti katkaistua moduulin syötön. Kytkin löytyy moduuleiden alapuolelta ja moduulit ovat päällä, kun kytkin on kokonaan oikealla puolella ja pois päältä, kun kytkin on kokonaan vasemmalla puolella. Moduulit on syytä käynnistää oikeassa järjestyksessä, jotta moduulit toimisivat oikein.

Ensin pitää käynnistää Master, joka on akkupaketin ensimmäinen vasemmalta, sitten Slave 1, joka on akkupaketin oikeanpuoleisin moduuli, ja lopuksi Slave 2, joka on keskellä akkupakettia. Tällä tavalla kaikki BMS- moduulit käynnistyvät, kun tulee käynnistystieto, esimerkiksi avainta kääntämällä. On tärkeää myös sammuttaa BMS- moduulit oikeassa järjestyksessä, joka on käänteisessä järjestyksessä käynnistykseen nähden. **Ensin sammutetaan Slave 2, sitten Slave 1 ja lopuksi Master.**

5.3 Akunhallintajärjestelmän toiminnot ja hälytykset

BMS- moduulit tarjoavat seuraavanlaisia toimintoja: tehonrajoitus, latauksen ohjaus sekä akkujen lämmityksen. BMS Master mittaa akkujen kuormitus- eli purkuvirran. Moduulit valvovat akkuja ja antavat hälytyksen, jos jokin raja-alue oli ylittynyt tai alittunut. Moduulit antavat hälytyksen, jos ne havaitsevat, että akun jännitetaso on pudonnut alijänniterajaan, akun jännitetaso on ylittänyt ylijänniterajan, akun lämpötila on liian alhainen tai lämpötila on liian korkea.

5.3.1 Tehonrajoitus

Meillä tehon rajoitus on toteutettu siten, että BMS antaa alijännitehälytyksen, kun jokin akun jännitetaso alittaa annetun alijänniterajan, jolloin logiikka rajoittaa moottorin ottaman tehon puoleen. Tällä tavalla saadaan auto siirrettyä turvallisesti lähimmälle latauspisteelle tai siirrettyä auto pois liikenteen jaloista odottamaan hinausta, eivätkä ajoakut pääse tyhjentymään täysin yllättäen.

5.3.2 Latauksen ohjaus

BMS ohjaa ja säätelee laturin toimintaa. Lataukseen ohjauksessa BMS käyttää PWM-muutosta. PWM- muuttajalla ensin tehdään kantoaalto, joka on vakioamplitudinen ja vakiotaajuinen positiivinen signaali. Kantoaallot erotellaan toisistaan lyhyellä negatiivisella Carrier- pulssilla. Tämän avulla saadaan luotua pulssille enimmäisaika, joka se on yhtäjaksoisesti päällä. Käynnistyspulssia viivästyttämällä saadaan pienennettyä pulssin päällä oloaikaa. Mitä myöhäisempi sytytyspulssi on, sitä pienemmällä teholla PWM- muuttajan perässä oleva laite toimii. Jos sytytyspulssi tulee kantoaallon puolivälissä, niin PWM- muuttajan perässä oleva laite toimii 50 % teholla.

Laturi toimii 100 % teholla, kun akku tyhjä, 50 % teholla, kun akun varaustaso on puolivälissä, ja laturi on pois päältä, kun akku on täynnä. BMS myös tasaa akkujen jännitettä siten, että akkujen jännitetasoero on korkeintaan 10 mV, eli kahden akun välinen jännite-ero saa olla korkeintaan 10 mV. Tämä merkitsee sitä, että akut latautuvat ja purkaantuvat tasaisesti.

5.3.3 Akkujen lämmitys

BMS ohjaa myös akkujen lämmitystä. Akkujen lämmitys on tärkeää etenkin ladattaessa, jos lämpötila on alhainen, koska lämmin akku vastaanottaa paremmin virtaa ja latautuu paremmin kuin kylmä akku. Lämmittiminä käytimme Enston valmistamaa Sloterm- tuotemerkkistä lattialämmityskaapelia. Kaapelin lämmitysteho alun perin oli 240 W ja kaapelin pituus oli 11 m. Lämmityskaapeli toimi normaalilla 230 V verkkojännitteellä. Näin ollen lämmityskaapeli ottaa verkosta 1 A virran. Kaapeli asennettiin akkupaketin pohjaan sekä matkustamon puoleiseen akkupaketin kylkeen. Kaapelia

asennettaessa huomasimme, että kaapelista jäi noin 1 m hukkapätkää, joka katkaistiin. Katkaistu kaapelinpää päätettiin asiankuuluvalla tavalla ja päällystimmme kaapelin siten muutamalla kutistumuovisukalla. Koska kyseinen kaapeli ei ole itsesäätyvä, niin kaapeli ottaa hieman enemmän virtaa kuin alkuperäinen, koska kaapelin resistanssi pieneni. Virta kasvoi 1,1 A ja teho kasvoi 260 W:iin. Tällä lämmitysteholla emme riko kaapeli, akkuja tai akkupakettia ympäröiviä vanereita. Akkujen lämmityskaapeli on asennettuna kuvassa 5.



KUVA 5. Akkujen lämmityskaapeli asennettuna

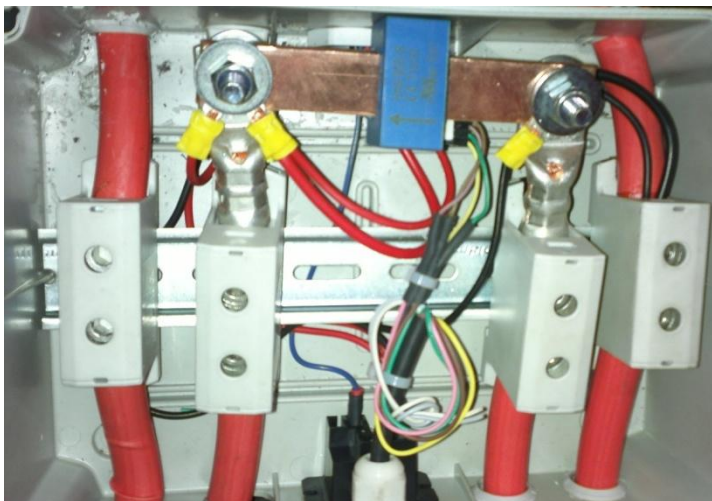
Lämpöantureina käytimme 5 k Ω NTC- termistoria (Negative Temperature Coefficient). Kyseessä on termistori, jonka resistanssi muuttuu negatiivisesti lämpötilan kasvaessa. Huoneenlämmössä resistanssin arvo 5 k Ω ja lämpötilan kasvaessa resistanssin arvo pienenee ja lämpötilan pudotessa resistanssin arvo kasvaa. Lämpöantureita tuli 21 akkuun ympäri akkupakettia, mutta siten, että pääpaino antureilla keskittyi akkupaketin keskiriville, koska vierekkäiset akut lämmittävät toisia erityisesti akkuja kuormitettaessa, jolloin keskirivin akut ovat koetuksella. Antureita varten akkujen pultteihin tehtiin lovi, johon saimme lämpöanturin kiinnitettyä. Antureita kiinnittäessä ensin laitettiin pulttiin vähän lämpöjohtavaa piitahnaa, jonka päälle laitettiin anturi ja anturin päälle laitettiin kuumaliimaa. Lämpöantureiden mittaustieto menee suoraan BMS-moduuleille. Kuvassa 6 lämpöanturia testataan pulttiin tehtyyn loveen.



KUVA 6. Lämpöanturi ja akun pultti

5.3.4 Virran mittaus

BMS Master mittaa akkujen kuormitusvirran käyttämällä ylimenovastusta (shunt resistor) eli shunttia. Shuntti on kytketty akkupaketin plussanapaan, jolloin vastus mittaa akkujen virran kulutuksen ja suunnan. Shunttina käytettiin kuparikiskoja, koska kuparikisko kestää hyvin hetkellisiä virtapiikkejä lämpenemättä, jolloin shuntin resistanssi ei muutu, jolloin mittaustulos tarkka. Kuparikiskoon asennettiin LEM:n HAS 600-S virtamuuntaja, joka muuttaa mitaamansa virran jännitetiedoksi. Virtamuuntaja on sininen möykky kuparikiskossa. BMS laskee shuntin resistanssin arvon sille annettujen arvojen pohjalta. BMS laskee akkujen kuormitusvirran shuntin resistanssista ja shuntin jännitteen muutoksen perusteella. Kuvassa 7 näkyy auton päävirtakytkentälaatikko, jossa on mukana shuntti ja virtamuuntaja.



KUVA 7. Päävirtakytkentälaatikko

5.3.5 Alijänniterajahälytys

BMS tarkkailee akkujen jännitetietoja akkuja kuormitettaessa ja antaa alijännitehälytyksen ja katkaisee sähkön syötön, kun akun jännitetaso putoaa annettuun alarajaan. Jos akut purkaantuvat alle alajänniterajan, niin akut syväpurkaantuvat, jolloin akut vahingoittuvat, eivätkä välttämättä ota enää virtaa vastaan. Valmistajan mukaan akun jännitetaso ei saa laskea alle 2,55 V. Me asetimme rajan 2,8 V, jolloin meille jää 0,25 V reserviin ennen kuin akut syväpurkaantuvat. Alijännitehälytys havaitaan BMS- moduuleissa siten, että keltainen led syttyy ja logiikkaan tulee ilmoitus alijännitteestä, jolloin logiikka rajoittaa moottorin tehot puoleen. Led sammuu, kun akun jännite nousee.

5.3.6 Ylijännitehälytys

BMS valvoo akkujen jännitetietoja akkuja ladattaessa ja antaa ylijännitehälytyksen ja sammuttaa laturin, kun akun jännitetaso nousee annettuun ylärajaan. Jos akkuja ladataan yli ylijänniterajan, niin akut alkavat kiehumään ja niistä tulee hyvin epävakaita. Valmistajan mukaan akun jännitetaso ei saa ylittää 3,65 V. Me asetimme ylärajaksi 3,6 V, jolloin reserviin jää 0,05 V, ennen kuin akut alkavat kiehua. Ylijännitehälytys nähdään BMS- moduuleissa siten, että punainen led syttyy. Led sammuu, kun akun jännite putoaa.

5.3.7 Alilämpöhälytys

Akkujen lämmitys kytkeytyä päälle, kun akut ovat latauksessa ja akun lämpötila alittaa 18 °C. Lämmitys kytkeytyy pois päältä, kun akun lämpötila ylittää 23 °C. On tärkeää, että akut ovat lämpimiä ladattaessa, koska lämpimät akut ottavat helpommin virtaa vastaan kuin kylmät akut. Ajossa kylmät akut lämpiävät nopeasti, kun niitä kuormitetaan.

5.3.8 Ylilämpöhälytys

Ylilämpöhälytys aktivoituu, kun akun lämpötila ylittää 45 °C ja hälytys kytkeytyy pois, kun akun lämpötila alittaa 42 °C. Hälytyksestä tulee tieto auton kosketusnäyttöön

ilmoitus, jolloin kuljettaja on tietoinen asiasta ja ajaa auton parkkiin, jossa akut jäähtyvät. Akkujen lämpötila ei saa nousta liian suureksi, sillä akut alkavat kiehua ja tulevat epävakaaiksi. Autoon ei asennettu akkujen jäähdytystä, koska akuilla kestää pitkään ennen kuin ne lämpiävät liikaa. Autoa ei ole testattu kesäkeleillä, joten emme tiedä kuinka akut käyttäytyvät kesähelteillä.

5.3.9 Sulake palanut hälytys

Jos jostain syystä akun jännitemittauksen tai BMS- moduuleiden syöttöjohdon sulake on palanut, niin BMS ilmaisee ongelmatilanteen sillä moduulilla, joka valvoo kyseistä akkua, joko keltaisella ledillä tai keltaisella ja punaisella ledillä yhtä aikaa. Ledien värit riippuvat siitä, onko vika jännitemittauksella vai syöttöjohdossa. Keltainen valo syttyy, kun vika jännitemittauksessa ja keltainen ja punainen valo syttyvät, kun vika on syöttöjohdossa. Vika on todennäköisesti jännitemittauksessa tai BMS- moduulin syötössä, jos akkujen jännitetasot ovat kunnossa. Akkujen jännitetasot selviävät helposti yleismittarilla. Tässä tilanteessa helpoin tapa paikallistaa vika on käyttää BMS- moduuleiden omaa kommunikointityökalua, joka tulkitsee tietokoneen kautta moduuleiden välisen keskustelun. Kommunikointi tapahtuu CAN- väylän kautta PCTool- ohjelmalla. Tarkemmat ohjeet akunhallintajärjestelmän vianmääritykseen löytyvät PCTool- ohjelma- osiosta.

5.4 Laturi

Sähköauton akuiksi valikoituivat LiFePo₄- akut, joten laturin täytyy olla yhteensopiva akkujen kanssa. Näin ollen ajoakkujen laturiksi valittiin TC Chargerin valmistama laturi, jonka tyyppi oli TCCH-H1 46–20. Laturi oli mitoitettu 40 akulle, ja kun sähköautoon tulee 36 akkua, niin tämän laturin kapasiteetti on riittävä. Laturi tarvitsee toimiakseen vaihtojännitteen, joka on 240 V 50 Hz taajuudella. Laturi antaa ulos maksimissaan 146 V tasajännitettä ja 20 A latausvirtaa. Laturi on IP- luokitukseltaan IP46, mikä tarkoittaa sitä, että työkalulla ei pääse käsiksi laturin sähköosiin ja se on veden kestävä, mutta ei kuitenkaan kestä veteen upottamista.

Laturissa on LED- indikaattori, joka kertoo, mikä on akkujen varaustila kyseisellä hetkellä. Punainen led, joka välkkyi 1 sekunnin sykkeessä, ilmaisee, että akut ovat

alle 80 % täydestä latauksesta, keltainen led ilmaisee, että akut ovat yli 80 % täydestä latauksesta, mutta ei täynnä, ja vihreä led ilmaisee, että akut ovat täynnä. Sähköauton laturi on esiteltynä kuvassa 8.



KUVA 8. Sähköauton laturi

Käyttöakkua ei voida ladata samalla laturilla, jolla ladataan ajoakkuja, koska laturilla ja käyttöakulla on eri jännitetaso. Jos laturilla lataisi suoraan käyttöakkua, niin käyttöakun jännite nousisi kymmenenkertaiseksi sen normaalin jännitteeseen nähden, jolloin akku kiehuu rajusti ja saattaisi räjähtää. Sen sijaan käyttöakku ladataan DC/DC-muuntimella, joka muuntaa ajoakun 120 V jännitteen käyttöakulle sopivammaksi 12 V:iin. Jotta olisimme varmoja, että DC/DC-muuntimella riittäisi virtaa ladata käyttöakku, niin laitoimme kaksi DC/DC-muunninta rinnakkain.

5.4.1 Laturin sijoitus

Auton takakontissa ollut vararengas poistettiin ja tähän vapaaseen tilaan laitoimme ajoakkujen laturin ja käyttöakkujen DC/DC-muunnin. Nämä komponentit lämpenevät käytössä, joten ylimääräinen tila näiden komponenttien ympärillä on vain hyvästä. Komponentit saatiin piilotettua helposti vanerilla ja verhoilulla, jolloin saimme kaapelireitit piiloon. Laturin kohdalle teimme luukun, josta pystymme näkemään latauksen aikana, missä varaustilassa akut ovat. Tulevaisuudessa takakonttiin voisi asentaa tuuletin, joka jäähdyttäisi latureita latauksen aikana. Laturin ja DC/DC-muuntimien loppusijoituspaikka kuvassa 9.



KUVA 9. Laturin ja DC/DC- muuntimien loppusijoituspaikka

5.4.2 Laturin kytkentä

Laturin syöttö tulee latauspistokkeen kautta kontaktorille, joka ohjaa syöttää sähköä laturille. Kontaktoria ohjataan käsijarrulla siten, että lataus ei mene päälle, jos käsijarrua ei ole vedetty ylös. Laturi syöttää virtaa sulakkeen kautta akuille. BMS ohjaa laturin säätöä. DC/DC- muuntimet on kytketty siten, että ne lataavat käyttöakkaa samalla kun ajoakkuja ladataan ja ajon aikana. Käyttöakut latautuvat silloinkin, kun auto on ”tyhjäkäynnillä”, eli virta-avain on käynti asennossa, mutta moottoria ei kuormiteta.

6 AKKUJEN LATAUS

Ajoakut ja käyttöakun on mahdollista ladata suoraan sähköverkosta, ekologisesti aurinko- ja tuulivoimalla sekä ajon aikana, kun hyödynnetään moottorijarrutusta. Moottorijarrutuksessa sähkömoottorista tulee generaattori, joka syöttää sähköä takaisin ajoakkuihin. Nämä lataustyyliä voidaan jakaa ”ylläpitävään”, keskinopeaan ja hitaaseen lataukseen. Seuraavaksi kerron tarkemmin näistä latauksista ja siitä, kuinka nämä eroavat toistaan.

6.1 Lataus sähköverkosta

Lataustyyleistä sähköverkosta lataaminen keskinopeaa, sillä tällä tyylillä akkujen täyteen lataus kestää noin 9 tuntia riippuen ulkolämpötilasta ja siitä, kuinka tyhjä akku on latauksen aloituksessa. Latausvirta voi maksimissaan olla 20 A, mutta se on rajoitettu 16 A, jotta auton voisi ladata käyttämällä normaaleja pistorasioita. Lataus tapahtuu yksivaiheisesti 230 V jännitteellä. Sähköverkosta ladattaessa autossa on oltava erityispistoke, jossa on syöttöjohtojen lisäksi myös kaksi tietokarvaa, joiden avulla saadaan katkaistua pistokkeen sähkön syöttö, kun pistoketta irrotetaan tai kytketään autoon. Tällä tavalla ei synny kytkettäessä eikä latausjohtoa irrottaessa kipinöitä eikä ikäviä valokaareja.

Sähköverkosta ladattaessa auton käsijarru täytyy olla vedettynä ylös, jotta akut latautuisivat. Tällä tavalla varmistutaan siitä, että autolla ei voi vahingossa ajaa latauksen aikana ja käsijarru varmistaa, että auto pysyy latauksen aikana paikallaan. Autolla ajaminen täytyy olla estetty mekaanisesti latauksen aikana. Latauspistoke auton polttoaineluukun kohdalla ja se on kuvattuna kuvassa 10.



KUVA 10. Latauspistoke

Latauksessa käytetään latauspistokkeeseen yhteensopivaa latausjohtoa. Latausjohdon toinen pää on varustettu normaalilla yksivaiheisella pistotulpalla, joka kestää 16 A latausvirran 230 V jännitteellä. Latausjohto on oranssin värinen. Kuvassa 11 latausjohto ja latauspistoke on yhdistetty.



KUVA 11. Latausjohto ja latauspistoke

6.2 Lataus aurinko- ja tuulivoimalla

Ekologisesti lataaminen aurinko- ja tuulivoimalla voidaan luokitella hitaaseen lataukseen, koska akkujen lataaminen täyteen kestää 27 tuntia aurinko- ja tuulivoiman akuilla 4 A latausvirralla. Tämä tarkoittaa sitä, että jos ulkona on tyyntä ja pilvistä, niin näillä akuilla voidaan ladata sähköauto täyteen 27 tunnissa. Tietenkin tuulessa ja auringon paisteessa latausvirta olisi paljon suurempi, jolloin myös latausaika olisi lyhyempi. Tuuli- ja aurinkovoiman latausvirtaa ei voi aivan tarkkaa määritellä, koska nämä riippuvat täysin ulkona vallitsevista sääoloista. Tämä vain tarkoittaa sitä, että sähköauton voi ladata puhtaalla ja uusiutuvilla luonnonvaroilla 27 tunnin ajan, vaikka ulkona olisi täysin tyyntä ja pilvistä. Aurinko- ja tuulivoimalla ladattaessa on huomiotava, että auton käsijarru on vedettynä ylös, jotta akut latautuisivat ja varmistuttaisiin, että auto ei karkaa kesken latauksen.

6.3 Lataus ajon aikana

Tämä lataus poikkeaa kahdesta aikaisemmasta siinä, että akkujen lataaminen tapahtuu seinästä latauksen sijaan tien päällä ajossa. Tätä latausta voisi kutsua ”ylläpitäväksi lataukseksi”. Ajoakkujen ja käyttöakun lataaminen ajossa tapahtuu eri tavoilla, joten seuraavaksi kerron miten ajoakkujen lataus eroaa käyttöakkujen latauksesta ajon aikana.

6.3.1 Ajoakkujen lataus

Sähköautossa on käytössä regeneroiva jarrutus, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että moottorijarrutuksella sähkömoottorista tulee generaattori, joka syöttää virtaa takaisin akkuihin ladata näitä. Tämä latausvirta voi olla muutamia satoja ampeereita ja latausaika riippuu moottorijarrutuksen kestosta. Tämä akkuihin varastoitunut sähkö purkaantuu lähes saman tien seuraavassa ylämäessä tai kiihdytyksessä, sillä juuri ylämäet ja kiihdytykset kuluttavat paljon sähköä. Tämän takia ajon aikaista latausta voisi kutsua leikkimielisesti ”ylläpitävä lataus”. Regeneroivan jarrutuksen avulla saavutetaan kuljettajan ajotavasta riippuen 10- 20 km lisää toimintasädettä.

6.3.2 Käyttöakun lataus

BMS valvoo ajoakkujen varaustilaa ja antaa kosketusnäytölle ilmoituksen, kun ajoakkujen varaus on liian alhainen. Käyttöakkujen varaustilaa ei valvo eikä mittaa mikään laite, joten käyttöakku on oltava ajossa kaiken aikaa latauksessa, kuten polttomoottoriautoissa moottori pyörittää laturin hihnaa ja laturi huolehtii akun varaustilasta. Käyttöakun on tärkeä olla koko ajan latauksessa, sillä se syöttää virtaa akun omille sähkölaitteille, logiikalle sekä paljon virtaa kuluttaville jarru- ja ohjaustehostinpumpulle ja vesikiertopumpulle. Jos käyttöakku ei olisi latauksessa ajon aikana, niin akun virta loppuisi nopeasti, jolloin logiikka ei saa sähköä, jonka seurauksena moottorinohjain ei saa kaasutietoa, joka johtaa siihen, että autolla ei voisi ajaa. Tämän takia on parempi jos ajoakuista loppuu virta, silloin autolla ei voi ajaa, mutta autossa toimivat vielä hätävilkut, joten voit varoittaa toisia autoilijoita kolarista. Käyttöakun lataus tapahtuu DC/DC- muuntimien avulla.

7 AKKUJÄRJESTELMÄN TESTAUS

Koska kenelläkään ei ollut kokemusta näin laajasta akkupaketista eikä BMS- moduuleista, niin oli syytä tehdä akkujärjestelmän testaus, ennen kuin akkupaketti nostettiin auton kyytiin. Ensimmäisenä testasimme, että akut mahtuvat kotelon kanssa sille määritellyyn paikkaan takapenkin tilalle, jotta ei kävisi niin, että meiltä loppuisi tila akkupakettia laittaessa. Tämän jälkeen siirsimme akkukotelon siirrettävän tason päälle,

jotta akkupakettia olisi helpompi liikutella. Tässä vaiheessa pohdittiin miten päin ja missä järjestyksessä akut olisi hyvä laittaa, jotta akkuja yhdistävät liuskat saataisiin kiinnitettyä. Meidän piti huolehtia siitä, että akkujen päänavat olisivat lähellä auton päävirtakaapeleita, jotta kaapelihävikki olisi mahdollisimman pieni. Akkujärjestystä mietittäessä, otimme huomioon sen, että BMS Masterin on valvottava akkupaketin osaa, jossa on suurin potentiaali, koska virran mittauksessa käytettävä shunttivastus on oltava akkupaketin positiivimassa navassa kuormaan (moottorin) nähden. Lopullinen akkujen järjestys on kuvattuna liitteessä 1.

Kun akkujen järjestys oli selvillä, niin sen jälkeen suunnittelimme BMS- moduuleiden kaapelireittejä, jotta saataisiin mahdollisimman siistit ja lyhyet johdot akuille. Johtoreittejä suunniteltaessa oli huomioitava se, missä järjestyksessä moduulit ovat akkupakettiin nähden, jotta BMS ei valvoisi väärää akkua. Tässä samassa yhteydessä mietimme lämpöantureiden paikkaa, jotta akkujen todellisesta lämpötilasta saataisiin selville. Suurin osa lämpöantureista kiinnitettiin akkupaketin keskiriville, koska nämä akut lämpiävät muita akkuja enemmän, kun akkuja kuormitetaan.

Jotta saataisiin selville, että akut ja BMS toimisivat halutulla tavalla, kytkettiin tietokone BMS- moduuleiden CAN- väylään. Tällä tavalla BMS- moduuleiden mukana tullut PCTool- ohjelma kertoo akkujen tarkan tilan ja samalla ilmoittaa moduuleiden hälytykset ja BMS- moduuleiden toimintatilan. Seuraavassa kappaleessa käsittelen tarkemmin PCTool- ohjelmaa. Kuvassa 12 on esiteltynä akkujärjestelmän testaus siirrettävän tason päällä.



KUVA 12. Akkujärjestelmän testaus

8 PCTOOL- OHJELMA

PCTool- ohjelman avulla pystyy helposti määrittelemään akunhallintajärjestelmän vian sekä tarkistamaan akunhallintajärjestelmien ja akkujen tilan. PCTool- ohjelman avulla voidaan muokata BMS- moduuleiden parametriarvoja, kuten akkujen jännite- ja lämpötilarajoja, latausvirtoja, purkuvirtoja. Kaikki tarvittavat välineet ohjelman käyttöä varten löytyvät sähköautosta.

Ensin varmista, että kaikki BMS- moduulit ovat päällä. Asian voi tarkistaa siitä, onko kaikkien moduuleiden kytkimien vipu käännetty oikealle. Jos moduulit ovat päällä, voit edetä seuraavan kohtaan. Jos kaikki moduulit eivät ole päällä, niin sammuta päällä olevat moduulit ja käynnistä ne seuraavassa järjestyksessä: ensin BMS Master (vasemmanpuoleinen moduuli), sitten BMS Slave 1 (oikeanpuoleinen moduuli), ja lopuksi BMS Slave 2 (keskimmäinen moduuli).

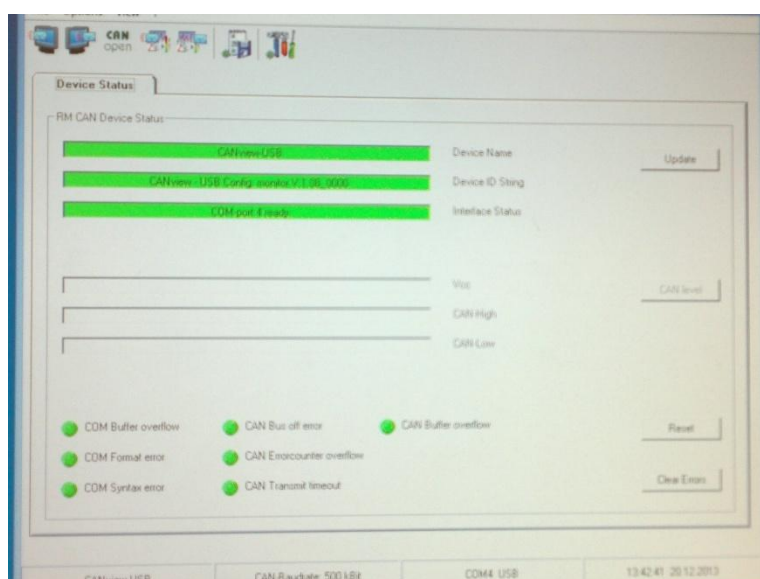
Seuraavaksi etsi autosta kannettava tietokone ja käynnistä se. Varmista, että tietokoneessa on akkua jäljellä, koska tietokone ei saa olla latauksessa moduuleiden tilaa tarkistaessa. Tämä on sen takia, etteivät moduulit rikkoudu tietokoneen ja moduuleiden välisestä maayhteydestä, koska tietokone ja BMS- moduulit ovat eri potentiaalisia. Lataa tietokoneen akku ennen kuin yhdistät sen BMS- moduuleihin, jos lataus on tarpeen. Tarkista, että tietokone on XP- tilassa, jolloin tietokone toimii paremmin. Seuraavaksi etsi autosta CAN- väylän muunnin, joka muuntaa CAN- väylä tiedon tietokoneelle ymmärrettävään muotoon. Muunnin on keskikäsinojassa pitkän valkoisen kaapelin päässä. Sen jälkeen etsi CAN- väylä muuntimen ja tietokoneen välinen kaapeli, joka on tietokoneen puolelta USB- liitin ja CAN väylä muuntimeen sopiva liitin. Kytke kaapeli johdon löydettyä. Varmista, että USB- liitin menee tietokoneen vasemmanpuoleiseen liittimeen, koska se liitin on asetettu oletusarvoksi. Kuvassa 13 on esiteltynä CAN- väylä muunnin.



KUVA 13. CAN- väylä muunnin

CAN- väylä muuntimessa palaa nyt vihreä ON- valo ja punainen virhe valo vilkkuu. Se on normaalitilanne, joka johtuu siitä, että ohjelma ei ole vielä päällä. Kun kaikki on kunnossa, niin sitten palaa kolme vihreää valoa.

Avaa tietokoneella Configure Manager- ohjelma. Tämä ohjelma tarkistaa, että yhteys on muodostettu oikein. Tällä ohjelmalla pitäisi palaa kolme vihreää valoa CAN- väylä muuntimessa. Kun ohjelmistossa kaikki on kunnossa, niin kaikissa indikaattoreissa palaa vihreä valo. Jos jokin indikaattori on punainen, klikkaa oikealla alhaalla olevaa Reset- painiketta tai Clear error- painiketta. Tämän pitäisi poistaa virheet. Kun kaikki on kunnossa, ohjelman voi sulkea. Kuvassa 14 on esiteltynä Configure Manager- ohjelma, kun kaikki on kunnossa.



KUVA 14. Configure Manager- ohjelma

Tämän jälkeen avaa Reap PCTool- ohjelma ja ohjelman avauduttua muodosta yhteys klikkaamalla Connection- painiketta. Nyt voit käynnistää auton avaimesta, jolloin ohjelman yläreunaan ilmestyy mittareita. Jos mittarit eivät ilmestyneet, sammuta auto, odota hetki ja käynnistä uudelleen. Mittareiden ilmestyttyä, paina Graphs- painiketta, jolloin tietokone näyttää akkujen tilan diagrammeina. Kuvassa 15 on esiteltynä tilanne, kun kaikki on kunnossa PCTool- ohjelmalla.



KUVA 15. PCTool- ohjelma

Diagrammeista pystyy helposti tarkistamaan akkujen tilan. Ensimmäinen mittari ylhäällä näyttää akkujen pääjännitteen, akkupaketin suurimman jännitteen ja akkupaketin matalimman jännitteen. Toinen mittari näyttää akkujen kuormitusvirran ja tehon ja kolmas mittari näyttää latauksen tilan, akkujen kunnan sekä kapasiteetin määrän.

Pylväsdiagrammit keskellä ilmaisevat jokaisen akun jännitteen moduuleittain. On muistettava, että moduuleiden numerot eivät vastaa suoraan BMS- moduuleiden numeroita. Moduuleiden numerot menevät samassa järjestyksessä, kuin BMS- moduulit ovat akkupaketin kyljessä: moduuli 0 on BMS Master, moduuli 1 on BMS Slave 2 ja moduuli 2 on BMS Slave 1. Akkujen numerot voi tarkistaa akkujen järjestyksestä liitteestä 1. Alhaalla olevat diagrammit kuvaavat akkujen lämpötiloja moduuleittain.

Ohjelman vasemmassa reunassa olevat tekstit syttyvät vihreällä tai punaisella värillä sen mukaan, onko kyseessä toiminta vai virhe. Toiminnot ovat vihreällä tekstillä ja virheet ovat punaisella tekstillä. Jos keskellä olevista diagrammeista jokin diagrammi puuttuu kokonaan, se ilmaisee, sen että kyseisen akun sulake on palanut. Sulaketta

vaihtaaksesi sammuta ohjelmat ja BMS- moduulit ennen kuin vaihdat sulaketta, jotta BMS- moduulit eivät saa virtapiikkiä sulaketta vaihtaessa.

9 KÄYTTÖ- JA KOLARITURVALLISUUS

Liikennekäyttöön tarkoitettussa sähköautossa on syytä panostaa auton turvalliseen käyttöön ja varauduttava, että auto saattaa joutua jossain vaiheessa kolariin, joten autosta on tehtävä myös kolariturvallinen. Auton käyttöturvallisuutta parannettiin asentamalla auton hansikaslokeroon hätä-seis -painike, jolla saadaan katkaistua pääkontactorin ohjaus, mikä katkaisee sähkön syötön akuilta moottorinohjaimelle. Tätä painiketta voidaan hyödyntää auton huolto- ja korjaustoimenpiteissä, jos täytyy työskennellä auton konehuoneessa lähellä moottoria. Hätä-seis -painiketta voi käyttää myös nimensä mukaan hätätilanteessa, jos ajon aikana havaitaan savua tai jotakin muuta asiaan kuulumatonta. Kolaritilanteissa voidaan katkaista auton syöttö hätä seis painikkeesta, jolloin akuilta tuleva suurjännite ei pääse aiheuttamaan suurempaa vaaratilannetta. Pääsyötön katkaiseva hätä-seis -painike on kuvassa 16.



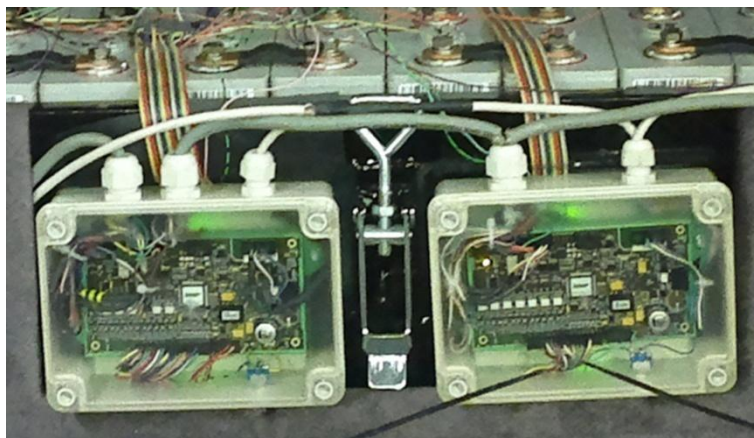
KUVA 16. Pääsyötön hätä-seis -painike

Sähköauton käyttöturvallisuutta lisää käsijarrulla varmennettu lataus. Käsijarru täytyy olla vedettynä ylös, jotta auton pystyy lataamaan latauspisteellä. Tämän tarkoituksena on estää autolla ajaminen, kun lataus on käynnissä. Tämä ajamisenesto on toteutettu sähköisesti. Käsijarru estää myös autoa karkaamasta latauspisteeltä muun liikenteen sekaan aiheuttamaan kolareita ja muuta häiriötä.

BMS- moduulit ovat varusteltu käyttökytkimillä, jotka helpottavat ja lisäävät käyttöturvallisuutta BMS- moduuleiden sulakkeen vaihdon yhteydessä. Moduuleilta voidaan katkaista syöttö kytkimeltä sulaketta vaihdettaessa, jolloin moduuleihin ei tule piirilevyä rikkovia virtapiikkejä sulaketta takaisin laittaessa. Kytkimen avulla voidaan myös nollata moduulit.

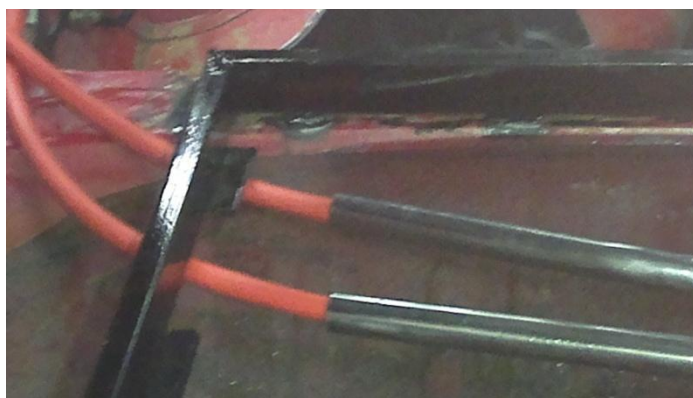
Sähköauton ajoakut sijaitsevat heti etupenkkien takana ja akkupaketin paino akkujen ja kotelon kanssa on noin 235 kiloa. Tämän takia meidän täytyi varmistua siitä, että akkupaketti pysyy ajon ajan paikallaan, eikä se saa liikkua ollenkaan jarrutuksissa, kiihdytyksissä eikä kolareissa. Akkupaketinkotelosta tehtiin tiukka, että akut sen sisällä eivät päässeet heilumaan yhtään. Käyttö- ja kolariturvallisuuden parantamiseksi akkupaketti kiinnitettiin auton runkoon niin tukevasti kuin oli mahdollista. Ensin akkupaketin kehykseen ja akkupakettiin porattiin 12 reikää siten, että neljä porattiin akkupaketin kummallekin pitkälle sivulle ja kaksi reikää porattiin kummallekin lyhyelle sivulle. Akkupaketin kehyksen sisäpuolelle hitsattiin reikien kohdille mutterit, jotka akkupakettia kiinnittäessä pitävät akkupakettia paikallaan. Pultteina käytettiin 8 mm pultteja, jotka takaavat riittävän tukevuuden akkupaketille. Seuraavaksi akkupaketin kehys, jonka sisälle akkupaketti sijoitettiin, hitsattiin tukevasti auton runkoon. Tämän jälkeen katsastusinsinööri kävi tarkastamassa ja hyväksymässä kehyksen olevan riittävän tukeva akkupaketille.

Akkukotelon kannen sisäpuolelle tehtiin ohuista metalliliuskoista ohjurit, joiden avulla akkukotelon kansi saatiin oikealle kohdalle. Ohjurit sijaitsevat kannen sivujen keskellä, mikä mahdollistaa sen, että kotelon kansi ei pääse liikkumaan sivusuunnissa. Kotelon kansi kiinnitetään akkupaketin koteloon kahdella salvalla, jotka ovat sijoitettu akkukotelon ulkopuolelle keskelle pitkiä sivuja. Akkukotelon salpa on kuvassa 17.



KUVA 17. Akkukotelon salpa

Sähköauton päävirtakaapelit ovat suurjännitteisiä, eli kaapelissa kulkeva jännite ylittää 120 V tasajännitteellä, joten ne on oltava hyvin suojattuja kolaritilanteissa sekä suurjännitekaapeli pitää olla oranssin värinen, jotta kaapelia ei voi sotkea muihin kaapeleihin. Sen takia päävirtakaapeleille taivutettiin kaksi metalliputkea, jotka kulkevat moottoritilasta akkujen luokse hyödyntäen auton rungossa olleen pakoputken reittiä. Kun päävirtakaapeli on vedetty tähän putkeen, niin kaapeli on turvassa mahdollisilta kolareilta ja kiveniskuilta. Päävirtakaapeli on myös EMC- suojattu, koska metalliputki on maadoitettu auton runkoon, jolloin kaapeli ei aiheuta sähkömagneettisia häiriöitä eikä kaapeli vastaanota häiriöitä muualtakaan. Maadoitus on saatu aikaiseksi hitsaamalla metalliputki auton runkoon silloin, kun kaapelia ei vielä ollut vedetty putken sisälle. Kuvassa 18 on päävirtakaapelit vedettynä akkupaketin kehyksen alapuolelle.



KUVA 18. Päävirtakaapelit akkupaketti kehyksen alapuolella

10 POHDINTA

Sähköauton ajoakuiksi valittiin 36 kappaletta Calpin valmistamia litiumrautafosfaattiakkuja, koska kyseiset akuilla on erittäin suuri energiatiheys painoon nähden. Nämä akut olivat kestäviä, ja niille oli luvattu pitkä käyttöikä, joten nämä akut olivat juuri ihanteellisia sähköautokäyttöön. Sähköauton akunhallintajärjestelmiksi valittiin Reapin valmistamia akunhallintajärjestelmiä, jotka oli suunniteltu litium-ioniakuille. Näitä BMS- moduuleita oli hankittava 3 kappaletta, koska yksi BMS voi valvoa enintään 14 akkua kerralla. Sähköauton ajoakkujen laturiksi valittiin TC Chargerin valmistama laturi, joka oli tarkoitettu nimenomaan litiumrautafosfaattiakuille. Laturilla voi ladata 40 akkua kerralla, joten laturi oli riittävän tehokas meidän käyttöömme.

Akkujärjestelmä oli hyvä testata ensin auton ulkopuolella, ennen kuin akkujärjestelmä siirrettiin autoon, koska tällä tavalla saimme rauhassa miettiä ja suunnitella akkujen järjestystä ja johtoreittejä. Testasimme akkujärjestelmän toimintaa BMS- moduuleiden mukana tulleella PCTool- ohjelmistolla, joka kertoo tarkasti jokaisen akun jännite- ja lämpötilatiedon sekä ilmoittaa, missä tilassa BMS- moduulit ovat. Kyseisen ohjelman avulla on helppo paikallistaa akkujärjestelmän vika. Kun todettiin akkujärjestelmän toimivan kunnolla, siirsimme akkujärjestelmän autoon.

Tämän työn tavoitteina olivat ladata sähköauto ympäristöystävällisesti käyttäen aurinko- ja tuulivoimaa ja auton akkujen lataaminen ajossa moottorijarrulla. Tavoitteina ovat myös saavuttaa autolla vähintään 120 km toimintasäde, joka riittäisi kattamaan hyvin kaupunkiajelun ja mahdollisen ajamisen lähikaupunkeihin sekä autosta saada mahdollisimman kolariturvallinen, jotta kolaritilanteessa akkuihin varastoitunut energia ei räjähtäisi tai akut eivät tulisi törmäyksen voimasta matkustamoon. Olen sitä mieltä, että saavutimme tämän työn tavoitteet hyvin. Sähköauton ympäristöystävällinen latauspaikka on valmistumassa ja auton akkuja voidaan ladata ajossa moottorijarrulla. Autolla ei vielä ole päästy kokeilemaan auton toimintasädettä, mutta olen luottavaisella mielellä, että tavoitteena ollut 120 km täyttyy. Autosta saatiin kolariturvallinen auton pääsytön katkaisevan hätä-seis -painikkeen ja tukevan akkukehikon ansiosta.

Työn aikana ilmeni useita ongelmia, jotka saatiin korjattua pienellä vaivalla, kuten komponentin sijoittamisella uuteen kohtaan tai suunnitelman muutoksella. Työssä oli kuitenkin kaksi suurta ongelmaa, jotka olivat lähellä estää työn valmistumista ajallaan. Ensimmäinen ongelma oli komponenttien hankinta. Ongelma tässä oli se, että useita komponentteja piti hankkia eri valmistajilta. Eri valmistajilla oli eri tavaran toimitusajat, mikä taas johti siihen, että projekti jäi paikalleen, kun komponentit eivät tulleet ajallaan. Eri valmistajien tuotteet eivät olleet yhteensopivia muiden valmistajien tuotteiden kanssa, jolloin meidän täytyi muokata tuotteet yhteensopiviksi. Jotta välttyttiin tämänkaltaisilta ongelmilta, niin pitäisi käyttää ainoastaan muutamaa laitevalmistajaa, jotka ovat hyvin tunnettuja ja heillä on oltava yhteensopivia laitteita sekä selkeät tavaran toimitusajat, ettei projekti ole pysähdyksissä sen takia, että odotetaan uutta osaa.

Toinen suuri ongelma oli tiukka aikataulu, mikä johti siihen, että auto piti purkaa ja rakentaa koulun jälkeen. Ongelma saatiin ratkaistua silloin, kun saimme suoritettua teorianunnit ja pystyimme kokopäiväisesti rakentamaan autoa. Tämän kaltaisiin projekteihin on hyvä antaa enemmän aikaa, ettei koulun käynti kärsisi projektin aikataulun takia.

Työn tarkoituksena oli selvittää, voiko ja kannattaako yksityishenkilön itse tehdä muuntosähköauto. Työn edetessä huomasimme, että tämänkaltaisen projekti on yksityishenkilölle aivan liian suuri työ sekä se käy hyvin kalliiksi. Tämän kaltaiseen projektiin tarvitaan paljon osaamista eri tekniikan aloilta, kuten auto- ja sähkötekniikasta sekä ohjelmoinnista, sekä on tiedettävä, mitä standardeja täytyy noudattaa ja mitä standardeja voi soveltaa. Projekti vaatii suuren toimintatilan, eikä autotallin tuoma tila riitä siihen alkuunkaan.

Tästä projektista saadut tulokset ovat hyvin yleistettävissä, sillä sähköautomme vastaa suorituskyvyltään ja toimintasäteeltään jo markkinoilla olevia sähköautoja. Monissa sähköautoissa, kuten autossamme, auton toimintasäde on yli 100 km ja latausaika noin 10 tunnin paikkeilla. Auton voi ladata aivan tavallisesta pistorasiasta muiden sähköautojen tapaan.

Meidän sähköauto on rakennettu pääasiassa koululle esittelyautoksi ja koulun postin jakeluun, mutta se soveltuu myös liikennekäyttöön ja se toimii myös opetuskäytössä. Autoa voidaan hyödyntää opetuksessa ohjelmointi- ja automaatiokursseilla esimerkiksi muuttamalla auton parametreja ja seuraamalla, kuinka auto käyttäytyy muutoksien jälkeen.

Autoon jäi vielä hyviä jatkotutkimushaasteita, kuten automaattinen päävirrankatkaisu kolaritilanteissa, akkujen jäähtymisen toteutus sekä auton suorituskyvyn parantaminen ja auton toimintasäteen kasvattaminen. Autolla on suuri merkitys koululle, sillä sen avulla saadaan ihmiset tietoisiksi siitä, että koulu arvostaa vihreitä luonnonarvoja, kun auton voi ladata ekologisesti. Auto on myös hyvää mainosta koululle, jonka avulla koululle saataisiin uusia opiskelijoita kiinnostumaan tekniikasta.

LÄHTEET

Battery University 2014. What is the C- rate? Verkkajulkaisu.
http://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate. Päivitetty 16.1.2014.
 Luettu 17.1.2014.

Euroopan yhteisöjen komission direktiivi 72/245/ETY 2004. WWW-dokumentti.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2004L0104:20041203:FI:PDF>. Julkaistu 14.10.2004. Luettu 21.1.2014.

Flinkenberg 2013. Optima Batteries. Verkkajulkaisu.
<http://www.flinkenberg.fi/batteries/optima.html#sthash.iXbAVd0x.g9BvClTQ.dpbs>.
 Julkaistu 20.10.2013. Luettu 16.1.2014.

Garthwaite Josie 2011. How ultracapacitors work (and why they fall short). Verkkajulkaisu. <http://gigaom.com/2011/07/12/how-ultracapacitors-work-and-why-they-fall-short/>. Julkaistu 12.7.2011. Luettu 20.1.2014.

Haavisto, Jari 2012. Sähköajoneuvoakkujen tutkimuslaboratorion laitteistomäärittely. Opinnäytetyö. <http://www.theseus.fi/handle/10024/41997>. Julkaistu 04.2012. Luettu 25.11.2013.

Jokinen, Juha 2010. Lyijyakun jännitetaso. PDF- dokumentti.
<http://www.miljoonalaatikko.com/dokumentit/lyijyakku.pdf>. Päivitetty 23.10.2010.
 Luettu 24.10.2013.

Kyrö, Antti 2013. Sähköautojen latausinfraan esisuunnittelu. Opinnäytetyö.
<http://www.theseus.fi/handle/10024/57136>. Julkaistu 03.2013. Luettu 25.11.2013.

Liutu, Mikko 2009. NiCd- ja NiMH-akkujen testaus. Opinnäytetyö.
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/6501/lt.pdf?sequence=1>. Julkaistu 3.12.2009. Luettu 20.1.2014.

Motiva 2013. Akut. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut. Päivitetty 19.12.2013. Luettu 19.1.2014.

Schlapbach, Louis 2009. Hydrogen- fuelled vehicles. Verkkajulkaisu.
<http://search.proquest.com.ezproxy.mikkeli.ami.fi:2048/docview/204562812/141CCDFA8AF7EDBC6F/14?accountid=27293>. Julkaistu 13.08.2009. Luettu 17.11.2013.

SFS 6000-7-722.3.5: 2012. Pienjännitesähköasennukset. Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Sähköautot – Nyt 2013. Sähköautojen EMC- hyväksynät. Verkkajulkaisu.
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:saehkoeautojen-emc-hyvaeksynnaet#toc4>. Päivitetty 28.1.2013. Luettu 21.1.2014.

Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2013a. Akku, sähköauton ongelmakohta. Verkkodokumentti.

http://www.stek.fi/energia_ja_ymparisto/sahkokulkuneuvot/sahkoauto/fi_FI/akku_sahkoauton_ongelmakohta/. Päivitetty 21.10.2013. Luettu 21.10.2013.

Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2013b. Sähköautojen perusasioita. Verkkodokumentti.

http://www.stek.fi/energia_ja_ymparisto/sahkokulkuneuvot/sahkoauto/fi_FI/sahkoautojen_perusasioita/. Päivitetty 11.8.2013. Luettu 10.11.2013.

Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2014. Sähköauton kustannukset. Verkkodokumentti.

http://www.stek.fi/energia_ja_ymparisto/sahkokulkuneuvot/sahkoauto/fi_FI/sahkoauton_kustannukset/. Päivitetty 10.1.2014. Luettu 10.1.2014.

Union of Concerned Scientists 2013. How Hybrid Cars and Trucks Work. Verkkosivusto. <http://www.hybridcenter.org/hybrid-center-how-hybrid-cars-work-under-the-hood.html>. Päivitetty 28.10.2013. Luettu 15.1.2014.

Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomissio 2010, WWW-dokumentti.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:057:0054:0085:FI:PDF>. Julkaistu 4.12.2010. Luettu 21.1.2014.

Akku29	Akku30	Akku31	Akku32	Akku33	Akku34	Akku35	Akku36	Akku15	Akku16	Akku17	Akku18
Akku14	Akku11	Akku10	Akku7	Akku6	Akku3	Akku2	Akku27	Akku26	Akku23	Akku22	Akku19
Akku13	Akku12	Akku9	Akku8	Akku5	Akku4	Akku1	Akku28	Akku25	Akku24	Akku21	Akku20
BMS Master				BMS Slave 2			BMS Slave 1				
kuvastaa potentiaalitasoa (nuoli akun plusnavasta seuraavan akun miinusnapaan)											
kuvastaa negatiivisinta napaa akkupaketissa (matalin potentiaali)											
kuvastaa positiivisinta napaa akkupaketissa (korkein potentiaali)											
akkupaketin katselusuunta on auton takaluukusta päin											